

## ◆ 水系の土砂管理特集 ◆

# 水系土砂動態マップの作成と利用 — 潟沼川と江合川の事例から —

藤田光一\* 平館 治\*\* 服部敦\*\*\* 山内芳朗\*\*\*\* 加藤信行\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

水系一貫の土砂管理<sup>1)</sup>においては、土砂動態を水系スケールでとらえる全体的視野、それに基づき課題とその解決の方向を見通す大局的な視野が何よりも大切である。このための基礎情報が、現地調査・観測や計算などによる詳細な土砂動態の検討から出てくることは言うまでもない。しかし、水系全体のスケールで見ると、土砂動態の特性が場所や粒径により非常に大きく変わるために、個別区間の詳細な検討を水系全体に積み上げたからといって、自動的に上記のような広い視野が得られるとは限らない。

このような技術面での課題を克服するために、著者らは、土砂動態を極力きちんと把握しようとする努力と土砂管理方針策定との間をつなぐ“中間的な”情報集積・編集の場が必要と考えている。具体的には、水系スケールでの土砂動態および管理の要点を見通すための「水系土砂動態マップ」の作成を提案している。本報文では、澗沼川(那珂川水系)と江合川(北上川水系)を対象にマップを試作した過程を述べながら、水系土砂動態マップの内容と有用性を説明する。

## 2. 水系土砂動態マップとは何か?

河川の水系を通る水と物質の流れは、流域を人体にたとえれば血流のようなものである。水系土砂動態マップは、国土の血流図の「土砂版」とも言え、水系における土砂の全体的な動きを簡潔に合理的な形で示すものである。マップの実例は3章、4章に示されている。マップ作成的一般的要諦は次の5点である。  
①水系内で一貫した表示法とする。  
②極力実測に基づき、わからない部分は無理に表示せず、「わからない」ことを表示する。  
③同じような挙動を示し、同じような働きを持つ粒径集団(有効粒径集団<sup>2),3)</sup>)ごとに分けて表示する。  
④一部または全てがその場所の河床材料となってそれと混じりながら輸送される土砂か、その場所の河床材料とほとんど混ざらず、そこでの

River Basin Map of Sources, Discharges and Storage of Sediment for Supporting Integrated Sediment Management.

河床変動に寄与しない形態で輸送される土砂かを分けて表示する。なお、後者を、ここではウォッシュロードあるいはウォッシュロード的土砂と表現する。  
⑤土砂の生産源である上流流域を、流域の特徴把握にあっても流域管理の単位としても適切なスケールを持つサブ流域に分割する。

土砂管理方針策定だけがマップ作成の目的ではなく、現状の土砂動態把握の弱点を明らかにし、当該水系に合った調査・観測戦略を練ることもマップ作成の重要なねらいである。このため、完全なデータが揃うまで待つのではなく、既往のデータあるいは数年程度で手に入るデータに基づき、できる範囲でまず作成してみることが重要である。

## 3. 潟沼川の水系土砂動態マップの試作

### 3.1 水系および河道の概要とマップ作成過程

図-1に澗沼川の流域図を、図-2に縦断形を示す。この河川は下流部で澗沼と呼ばれる湖に注ぎ、さらに下流で再び通常の河道となって最終的に那珂川と合流する。澗沼川が澗沼に注ぐ地点を、以後「河口」と呼ぶ。河口は那珂川合流点から16.4kmの地点にある。澗沼で大部分の土砂が堆積し、そこで地形変化も把握しやすいので(波が小さく、堆積土砂の再移動が少ないため)、水系全体の土砂収支を得るのに適した河川といえる。図-3には河床材料の粒度分布を示す。河口付近の17km、18km、19kmのデータを除くと、河床材料の主な粒径範囲は0.5mm以上であり60%粒径は1mmから20mm程度まで上流に向け概ね増大する傾向を持つ。

図-1中の●印は観測地点であり、有意な土砂供給が予想されるサブ流域の出口にあたる本・支川6箇所、澗沼川本川中流部(28.1km)、本川下流部(18.2km)の計8地点において浮遊土砂観測を行った<sup>4),5)</sup>。浮遊土砂の採取は低水路中央の水面付近でポンプ吸引により行った。また、河口付近の土砂収支を明らかにするため、16.4~19.1kmのセグメント3区間と河口テラスにおいて、堆積量調査を行った。

有効粒径集団<sup>2),3)</sup>としては、0~0.015mm、0.015

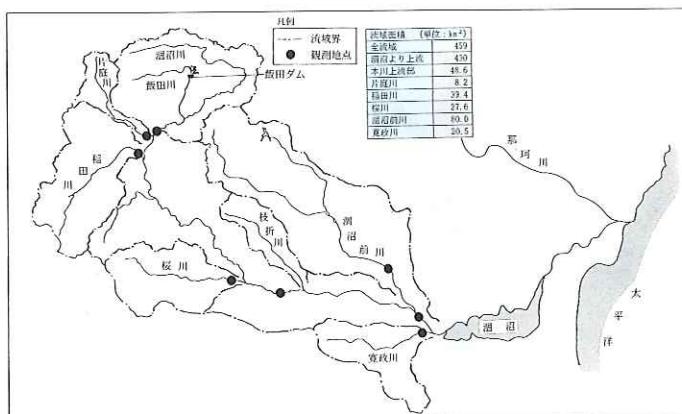


図-1 潟沼川の流域図

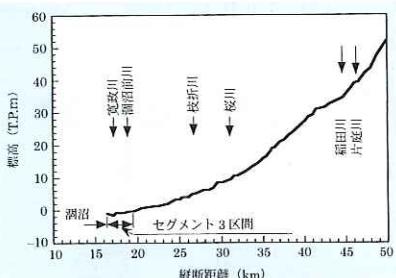


図-2 潟沼川縦断図(平均河床: 1988年)

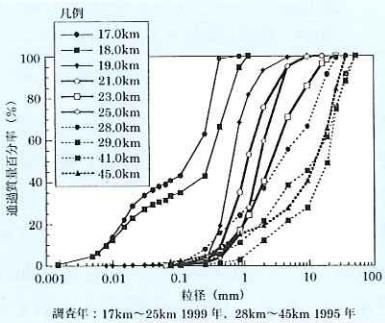


図-3 潟沼川の河床材料の粒度分布

~0.075mm、0.075~0.4mm の 3つをとりあげた。なお、0.4mm 以上については、それを河床の主材料とする 21km より上流において少なくとも最近 10 年間に河床縦断形の有意な変化が起こっていないこと、移動量が上記 3 つの粒径集団に比較して非常に小さいと予想されることから、ここでは取り上げなかった。

### 3.2 マップから見る土砂動態

#### 3.2.1 サブ流域～中流部

1998 年 9 月 16 日を中心とする 1 洪水の土砂移動総量について、水系内の土砂移動を包括的に描いたのが図-4 に示す水系土砂動態マップである<sup>6)</sup>。この図の見方は次の通りである。河道の大きさ

が土砂移動量を示している。この河道を跨ぐ白線は観測点であり、傍らに土砂通過量を示している。河床材料と交わりながら輸送される地点については、河道の横に点線を打った。サブ流域を表す四角内の数字は土砂生産源の面積である。また、動態の分からない地点については河道を破線表示とした。ここで、0.4~0.075mm の粒径範囲では、本川下流部の観測地点がない。これは、この区間がセグメント 3 に属し、当該土砂の流送形態がウォッシュロード的でなくなると予想される、したがって対象粒径の鉛直濃度分布がほぼ均一となるには掃流力が小さすぎ、水面付近の採水観測だけでは全流砂フラックスが得られないため、必要な観測精度を確保できないと判断したことによる。

この図によると、サブ流域から供給される土砂量と、28.1km および本川下流部観測地点での土砂通過量の間では、1~2割の誤差があるものの、ほぼ収支が合う結果となっている。このことから、河川中流域での細粒土砂移動量は、各サブ流域からの供給土砂量を粒径別に水文学的に追跡すれば把握できると言える。

#### 3.2.2 河口部付近

以上のように、取り上げた 3 つの粒径集団(いずれも細粒)についての中流域までの土砂動態は、収支に大きな影響を与えるような堆積・侵食が起こらないため、ピンポイント的な浮遊土砂観測により把握可能である。しかし、細粒であっても、河川の下流部、特にセグメント 3 区間から河口へ至る領域においては、対象とした粒径集団が河床材料と一部あるいは全て混ざり合いながら輸送されるため、上記の手法のみで動態を明らかにすることは困難である。そこで、河口付近の地形変化量と上流からの土砂移動量の比較を行い、河口付近だけを取り出した土砂動態マップを作成した。

比較方法は次の通りである。28.1km 地点の土砂通過量については、1990~1998 年の連続水位データを用い、同地点の H-Q 式、Q-Qs 式(流量～流送土砂量の関係式)により年平均値を算出した。河口付近の地形変化は、セグメント 3 区間(16.4 ~ 19.1km)の低水路内と、澙沼河口に形成されているテラス地形について測量および粒度試験を行うことで調査した。前者については、16.4km ~

19.1 km の 2.6 km 区間について、1988 年と 1998 年の河道横断データを比較し、年当たりの堆積量を算出した。後者については、1994 年と 1997 年の測量データを用い、同様に整理した。

図-5 に 0~0.075 mm (2 つの粒径集団を合わせて表示)、0.075~0.4 mm の各粒径集団の動態マップ(年平均値)を

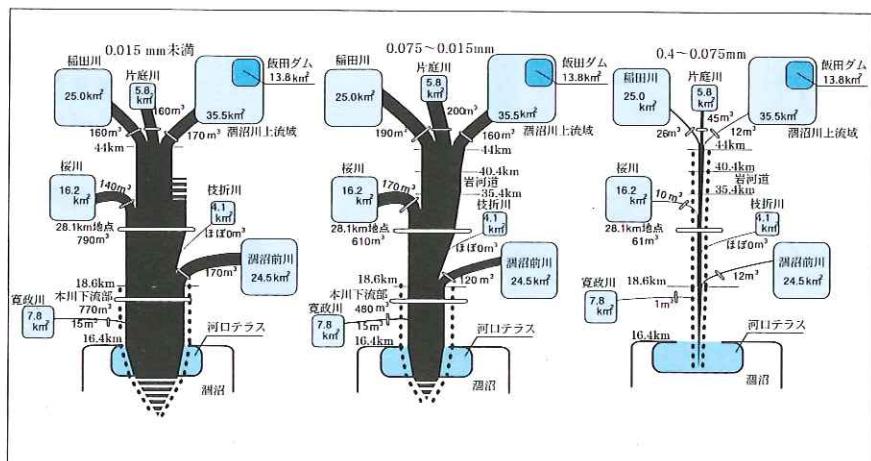


図-4 潟沼川の土砂動態マップ<sup>a</sup> (1998 年 9 月 16 日洪水による総移動量)

示す。図から、0.075~0.4 mm の粒径範囲については、28.1 km の通過量と河口部の堆積量(セグメント 3 と河口テラス)がほぼ一致する。0.075 mm 以下の粒径範囲では、28.1 km の通過量に対して、セグメント 3 での堆積量は約 5%、河口テラスでの堆積量は約 18% 程度にとどまる。以上の結果は、0.075~0.4 mm の粒径集団については、ほぼ全量が河口域に堆積し、そこまで完結した土砂収支を得ることができるのに対し、0~0.075 mm の粒径集団については、大半が河口テラスより沖の湖底へ堆積、もしくはさらに下流部に輸送されることを示している。

#### 4. 江合川の水系土砂動態マップの試作

##### 4.1 水系および河道の概要

図-6 に江合川の流域図を、図-7 に縦断形を、図-8 に河床材料の粒度分布を示す。江合川に実質的に土砂を供給するのは、図-6 中の 3 つの土砂生産域であり、このうち大きな面積を占める鳴子ダム上流の土砂生産域からの土砂は、1957 年に完成した鳴子ダム(洪水調節・かんがい・発電用:有効貯水容量 3 千 3 百万 m<sup>3</sup>)によりほぼ止められている。なお、3 つの土砂生産域では、古くから砂防事業が行われている。その下流沖積河道への影響は鳴子ダムの土砂抑止に比較して小さいと判断し、本報文でのマップには直接的には取り上げていない。河道は、図-7 に示すとおり、0 km(旧北上川との合流点)~26 km 付近のセグメント 2-2(河床材料は中砂~極粗砂)と 31 km 付近より上流のセグメント 1(河床材料は砂利)の 2 区間に大きく分けることができ、26~31 km 付近が両者の遷移的な特徴を

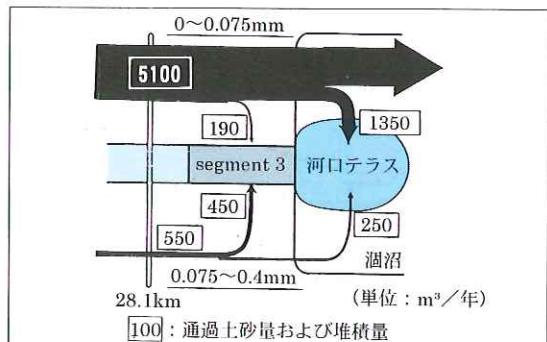


図-5 潟沼川河口部の土砂動態マップ

持つ区間となっている。セグメント 2-2 区間の上流端である 26 km 付近には右京江堰があり、ここを境に上下流で河床材料が砂利から砂へ急変する。

図-9 に、1965~1972~1993 年度の 3 時点での 0~30.6 km までの河床縦断形の変化を最深河床について示す。まず、1965 年度から 1972 年度にかけて河床が低下しており、これはセグメント 2-2 区間、2-1 区間を問わず縦断方向に概ね一様に生じている。この期間には砂利採取が行われており、そのオーダーが河床低下量のオーダーと対応することが確認されていることから、この時期の河床低下の主因は砂利採取と推定される。一方、1972 年度から 1993 年度にかけての縦断形変化は、上述の変化と大きく異なり、砂利を河床材料にもつセグメント 2-1 の区間では縦断形変化が小さいのに対し、砂を河床材料に持つセグメント 2-2 区間では、その上流側において明瞭な河床低下が生じ、その区間の河床勾配がやや小さくなるまでになっている。この期間には砂利採取がほとんど行われていないことから、この河床低下は土砂流送の縦

断的不均衡によるものと推定される(詳細は、4.3参照)。なお、1965～1972年の河床低下は河床勾配そのものには大きな影響を与えていないので、この時期の河床低下が次の時期(1972～1993年)のセグメント2-2区間上流側での河床低下の原因になったとは考えにくい。

## 4.2 マップの作成過程

まず、対象とする有効粒径集団として、  
0.1mm 以下、0.1~2mm、2~50mm の 3つ  
を取り上げた。このうち 2 番目はセグメン  
ト 2-2 区間に、3 番目はセグメント 2-1 と  
1 の区間の河床材料に対応させたものであ  
る(図-7、図-8 参照)。0.1mm 以下の粒径集団は、  
江合川では河床材料とほとんど混じらずに流下す  
るウォッシュロード的土砂として取り上げた。

図-10は、鳴子ダム貯水池に堆積している土砂についてボーリングを行い、堆積各層の粒度分布を調べたものである。なお、ボーリング位置は、ダム本体から3.6km上流で左岸から20mの距離であり、ちょうどデルタ先端の直上流付近にある。この図から、ダム堆積土砂が0.1mm以下、0.3~1mm、5~50mmを主な粒径範囲とする層からなっており、設定した有効粒径集団の粒径区分(0.1mm以下、0.1~2mm、2~50mm)とよく対応していることがわかる。以上から、江合川の土砂動態は、土砂生産域から下流の沖積河道区間にわたって一貫して、設定した3つの有効粒径集団の動きを追跡することにより把握できると言える。

マップ作成の対象期間については、砂利採取がほぼ0で、図-9に示すような明瞭な縦断形変化が見られた1973~1993年の20年間とした。

さて、江合川においては、涸沼川のように大規模な浮遊砂観測は行われていないが、その代わり鳴子ダム貯水池への堆積が貴重な情報源となる。そこで、鳴子ダムの土砂堆積データ(1973~1993年)を用いて、上述の有効粒径集団ごとの江合川河道への土砂供給量を推定する。この過程は表-1にまとめて示されている。まず、鳴子ダム上流を含む3つの土砂生産域について、比供給土砂量の比を各生産域の地質構成等から推定した。これらの比と鳴子ダム貯水池での実測土砂堆積量から、3つ土砂生産域それぞれの比供給土砂量(1973~1993年の年平均)を推定した。次に、鳴子ダム貯水池の堆積土砂データ(前述のボーリング

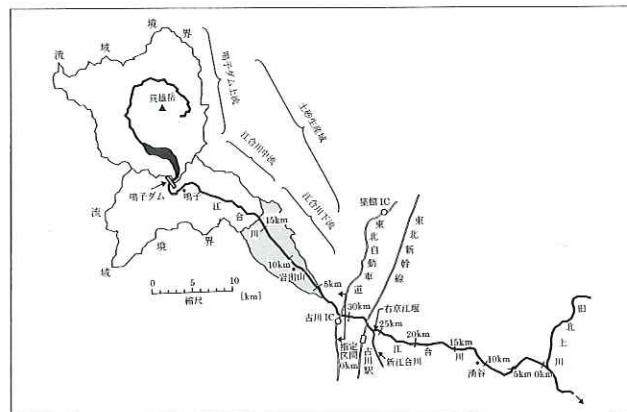


図-6 江合川の流域図

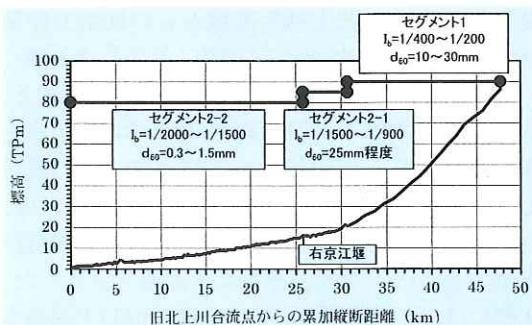


図-7 江合川の平均河床高の縦断図

(0~30.6km は 1972 年度、30.7km~ は 1971 年度)

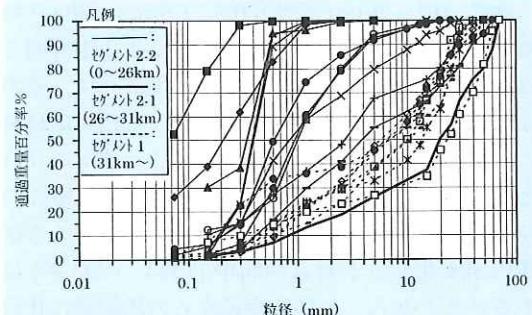


図-8 江合川の河床材料の粒度分布  
(調査は 1975 年と 1993 年)

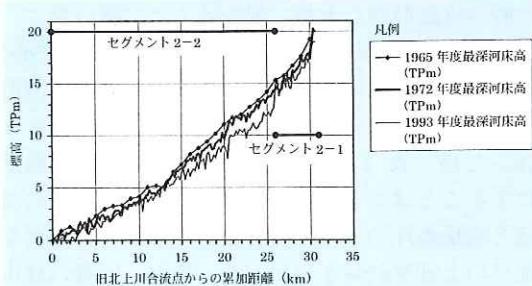


図-9 江合川の縦断形変化(最深河床高)

表-1 各土砂生産域からの粒径集団別供給土砂量の推定 (1973~1993 年の年平均値)

	面積 [km <sup>2</sup> ]	比供給土砂量 [m <sup>3</sup> /年/km <sup>2</sup> ]		各粒径集団の割合の算定				粒径集団別の供給土砂量の推定 [×10 <sup>4</sup> ][m <sup>3</sup> /年]			
		実績 <sup>1)</sup>	推定 <sup>2)</sup>	0.1mm 以下	0.1~ 2.0mm	2.0~ 50mm	50mm~	0.1mm 以下	0.1~ 2.0mm	2.0~ 50mm	50mm~
鳴子ダム上流土砂生産域	208.6	571	—	52%	28%	16%	4%	6.2	3.3	1.9	0.48
江合川中流土砂生産域	117.8	—	388	<52%>	<28%>	<16%>	<4%>	2.4	1.3	0.73	0.18
江合川下流土砂生産域	11.4	—	156	<52%>	<28%>	<16%>	<4%>	0.09	0.05	0.03	0.007

1) 鳴子ダム堆砂量データより

2) 地質等からの割合推定より

&lt;&gt; は、鳴子ダム上流の算定値をそのまま用いた推定値鳴子ダム上流の算定値はボーリングデータと堆砂形状変化から

グと堆積形状の経年変化) から、各粒径集団が全堆積土砂に占める割合を算定した。さらに、この割合が他の 2 つの土砂生産域にもそのまま当てはまる仮定した。以上を総合することにより、粒径集団別に、各土砂生産域からの供給土砂量(1973~1993 年の年平均) を推定した(表-1 右欄)。

以上により得られた粒径集団別の供給土砂量と、河道各区間における土砂移動形態の水理的考察を組み合わせて、土砂動態マップを次のように検討した。まず、0.1mm 以下の粒径集団については、江合川河道の全区間にわたってほとんど河床材料と混じることもなく、そのまま通過するとした。実際には、この集団の中でも 0.03mm 以上は高水敷や河岸形成に寄与することがあるが<sup>2)</sup>、ここでは供給量に比べ小さいとしてこの影響を無視した。

次に、0.1~2mm(実際上 0.3~1.5mm が中心) の粒径集団については、セグメント 1 と 2~1 区間では河床材料である砂利とほとんど混じらず、そのまま通過し、セグメント 2~2 に達した後河床材料になると。この設定の根拠は、セグメント 1 と 2~1 区間での河床材料(砂利) に含まれるこの粒径集団(砂) が 2~3 割と少なく、加えてこの区間の河床変動量が対象期間中(1973~1993 年) は小さいことから、土砂生産源からの供給量に比較して砂利河道区間からの供給量(あるいはそこでの堆積量) が無視できると判断できること、砂利と砂の流送形態が大幅に異なることに置いた。

最後に、2~50mm(実際上 10~30mm が中心) の粒径集団については、土砂生産源から冲積河道区間に下りてくる間にも河床材料と活発に混じり合うため、表-1 の供給量をそのまま河道移動量にすることはできない。そこで、対象期間中の河道と流量条件の下での流砂量計算により、主要な地点の土砂移動量を算出した。なお、同様の理由により、粒径集団 0.1~2mm の江合川末端での移動量(旧北上川への供給量) の算定にもこの方法

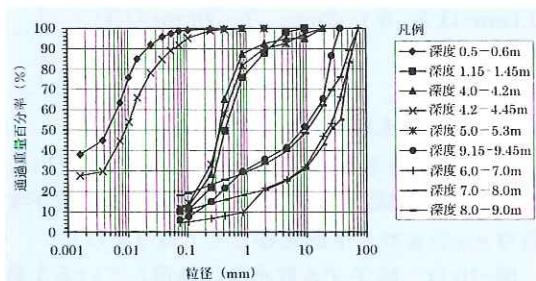


図-10 鳴子ダム堆積物各層の粒度分布

を用いた。流砂量を堆積時の体積に換算するための空隙率には 0.35 を用いた。

#### 4.3 マップから見る土砂動態

得られた土砂動態マップを図-11 に示す。図-12 は、対象期間中に鳴子ダムに堆積した土砂がそのまま下流河道に供給されていたと仮想したマップである。表示法は涸沼川の場合と同じである。これらの図から、まず、細粒の粒径集団 0.1mm 以下の移動量が他の集団に比べ大きいことがわかる。次に多いのが 0.1~2mm の粒径集団であり、これは、前述のように、セグメント 2~2 においてのみ河床材料と交換するよう表示されている。図-11 の実態では、この粒径集団の移動量がセグメント 2~2 区間ににおいて下流に行くほど増大している。

このことは河床低下傾向を意味し、実際、この不均衡量(1.4 万~3.6 万 m<sup>3</sup>/年) と実測の河床低下量とはオーダーが一致する。粒径集団 2~50mm は、少なくともマップ表示区間については、他の粒径集団に比べ圧倒的に移動量が小さく、セグメント 2~1 の下流端で止まっている。

図-12 の仮想マップ(鳴子ダムの土砂供給抑制効果 0 を仮想) と図-11 を比較すると、ダムの効果によって、左の 2 つの粒径集団の移動量が“痩せる”ことがわかる。2~50mm の粒径集団については、ダムの効果がマップ表示区間までとどいていないと推定される。また、粒径集団 0.1~2mm のセグメント 2~2 区間での移動量に着目すると、

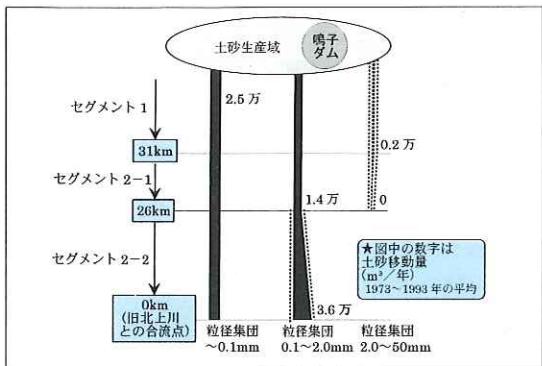


図-11 江合川土砂動態マップ

ダム効果無しの仮想状態では、上流の方が移動量が大きく、縦断形が全体的に少しづつ上昇する土砂バランスとなっている。このことは、鳴子ダム土砂供給抑止効果により、この粒径集団の供給量が絞られ、図-12の状態から図-11のように下流に向け移動量が増大する形になったことを示している。図-9に示した明瞭な河床低下が生じたのはこの理由によると判断できる。

## 5. 土砂動態マップの利用と今後の展開について

以上のようなマップを描くことによって、サブ流域の土砂供給特性、平野部での流送土砂形態、河床材料との混合、堆積領域といった、水系全体での土砂動態を総合的に把握することができる。また、このマップを土台にして、次のような課題について全体を見通す議論が可能になると期待される。1) 例えは、あるサブ流域において自然的、人為的インパクトにより供給土砂の量や粒径が変化したことが、下流部地形や自然環境に及ぼす影響の短期、長期予測。2) 土砂に吸着して流下する物質について、輸送量・質・供給源・堆積域の推定と、それが水質や自然環境へ及ぼす影響評価。

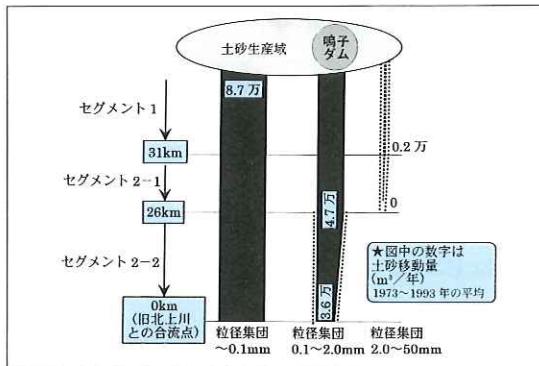


図-12 江合川仮想土砂動態マップ

(鳴子ダムからの土砂供給有)

本報文で描いたのは、土砂移動の一断面であり、同じ流域を対象にする場合でも、対象期間や時間・空間スケールを変えた種々のマップの作成により、土砂移動を多角的にとらえることもできる。対象流域固有の土砂動態とそれに関わる課題を把握するための基本情報として、水系土砂動態マップを描いてみようと思ふことが大切である。

## 参考文献

- 1) 河川審議会総合政策委員会、総合土砂管理小委員会：流砂系の総合的な土砂管理に向けて、平成10年7月
- 2) 藤田光一、宇多高明、服部敦：水系土砂収支分析のための「有効粒径集団」の考え方の提案、土木技術資料、Vol.37, No.12, pp.34-39, 1995.
- 3) 藤田光一、山本晃一、赤堀安宏：勾配・河床材料の急変点を持つ冲積河道縦断形の形成機構と縦断形変化予測、土木学会論文集、No.600/I-44, pp.37-50, 1998.
- 4) 平林桂、平館治ほか：洪水時広域採水による涸沼川水系の土砂動態観測、水工学論文集、第42巻、pp.1045-1050, 1998.
- 5) 望月達也、藤田光一、平林桂、平館治：新しい観点からの浮遊砂・ウォッシュロード観測の提案、土木技術資料、Vol.38, No.10, pp.50-55, 1996.
- 6) 平館治、藤田光一ほか：細粒土砂に関する涸沼川の水系土砂動態マップ、第54回土木学会年次学術講演会、II部門、1999.(投稿中)

藤田光一\*



建設省土木研究所河川部河川研究室長、工博  
Dr.Koh-ichi FUJITA

平館 治\*\*



同 河川研究室  
研究員  
Osamu HIRATATE

服部 敦\*\*\*



同 河川研究室  
研究員  
Atsushi HATTORI

山内芳朗\*\*\*\*



東北地方建設局  
河川部河川計画課  
課長補佐  
Yoshio YAMAUCHI

加藤信行\*\*\*\*



東北地方建設局  
北上川下流工事  
事務所調査課長  
Nobuyuki KATO